

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

3/ Priority Doc.  
E. Ullrich  
11-5-01

J1036 U.S. PTO  
09/943262



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年10月12日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-316843

出 願 人

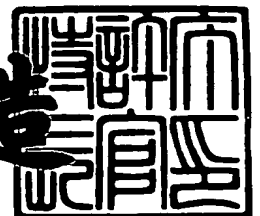
Applicant(s):

株式会社日立製作所

2001年 8月10日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3070984

【書類名】	特許願
【整理番号】	1100010931
【あて先】	特許庁長官 殿
【国際特許分類】	H01J 37/063
【発明の名称】	走査荷電粒子顕微鏡
【請求項の数】	12
【発明者】	
【住所又は居所】	茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番地 株式会社 日立製作所 計測器グループ内
【氏名】	石谷 亨
【発明者】	
【住所又は居所】	茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番地 株式会社 日立製作所 計測器グループ内
【氏名】	戸所 秀男
【発明者】	
【住所又は居所】	茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番地 株式会社 日立製作所 計測器グループ内
【氏名】	佐藤 貢
【特許出願人】	
【識別番号】	000005108
【氏名又は名称】	株式会社 日立製作所
【代理人】	
【識別番号】	100075096
【弁理士】	
【氏名又は名称】	作田 康夫
【電話番号】	03-3212-1111
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	013088
【納付金額】	21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 走査荷電粒子顕微鏡

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷電粒子源と、当該荷電粒子源から放出される荷電粒子線を集束するレンズと、前記荷電粒子線を試料上で二次元的に走査する走査偏向器を備えた走査形荷電粒子顕微鏡において、前記荷電粒子線の通過を制限する通過開口を、前記荷電粒子源と前記走査偏向器の間に配置し、当該通過開口は、少なくともその開口中心に前記荷電粒子線の通過を制限する部材を備えてなることを特徴とする走査形荷電粒子顕微鏡。

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記集束レンズによって試料上に集束される荷電粒子線は、その開き半開角が特定値  $\alpha_a$  と  $\alpha_b$  との帯域を持つことを特徴とする走査形荷電粒子線装置。

【請求項 3】

請求項 1 において、

前記通過開口は板状体内に形成され、当該板状体は前記荷電粒子線に対して、移動可能に形成されていることを特徴とする走査荷電粒子顕微鏡。

【請求項 4】

請求項 3 において、

前記板状体には、前記通過開口の他に円形開口が設けられていることを特徴とする走査荷電粒子顕微鏡。

【請求項 5】

荷電粒子源と、当該荷電粒子源から放出される荷電粒子線を集束するレンズと、前記荷電粒子線を試料上で二次元的に走査する走査偏向器を備えた走査形荷電粒子顕微鏡において、前記試料に集束する荷電粒子線の開き半開角が、特定値  $\alpha_a$  と  $\alpha_b$  との帯域を持つように照射する手段を備えていることを特徴とする走査形荷電粒子顕微鏡。

【請求項 6】

請求項 5 において、

前記荷電粒子源と、前記走査偏向器の間には輪帯開口が形成されたアパチャが備えられることを特徴とする走査荷電粒子顕微鏡。

【請求項 7】

請求項 6 において、前記アパチャには前記輪帯開口の他に、円形開口が設けられると共に、前記輪帯開口、および円形開口を前記荷電粒子線の軌道上に位置づけるための移動機構が設けられていることを特徴とする走査荷電粒子顕微鏡。

【請求項 8】

荷電粒子源と、当該荷電粒子源から放出される荷電粒子線を集束するレンズと、前記荷電粒子線を試料上で二次元的に走査する走査偏向器を備えた走査形荷電粒子顕微鏡において、

前記荷電粒子源と前記走査偏向器の間には、前記荷電粒子線の通過を制限する開口が、前記荷電粒子線の軌道上の異なる 2 個所に設置され、前記開口の一方は輪帯開口、他方は円形開口であることを特徴とする走査形荷電粒子顕微鏡。

【請求項 9】

請求項 8 において、

前記輪帯開口は板状体に形成され、当該板状体には、他に円形開口が設けられると共に、当該円形開口と前記輪帯開口を前記荷電粒子線軌道に位置づける移動機構が設けられていることを特徴とする走査荷電粒子顕微鏡。

【請求項 10】

請求項 8 において、

前記円形開口は板状体に形成され、当該板状体には、他に荷電粒子線遮断部が設けられると共に、当該荷電粒子線遮断部と前記円形開口を前記荷電粒子線軌道に位置づける移動機構が設けられていることを特徴とする走査荷電粒子顕微鏡。

【請求項 11】

請求項 8 において、

前記円形開口と前記輪帯状の開口はそれぞれ第 1 の板状体、第 2 の板状体に形成され、前記第 1 の板状体には前記円形開口の他に荷電粒子線遮断部が設けられ、前記第 2 の板状体には前記輪帯開口の他に円形開口が設けられ、前記第 1 の板

状体、及び第2の板状体にはそれぞれ移動機構が設けられていることを特徴とする走査荷電粒子顕微鏡。

【請求項12】

荷電粒子源と、当該荷電粒子源から放出される荷電粒子線を集束するレンズと、前記荷電粒子線を試料上で二次元的に走査する走査偏向器を備えた走査形荷電粒子顕微鏡を用いた試料像形成方法において、

前記荷電粒子線軌道上に輪帯開口を位置づけた状態で取得した試料像と、前記荷電粒子線軌道上に円形開口を位置づけた状態で取得した試料像とを合成して新たな試料像を形成することを特徴とする試料像形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、試料表面を走査する荷電粒子顕微鏡に係り、特に焦点深度の向上と分解能の向上の両立を可能ならしめる走査荷電粒子顕微鏡に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

電子顕微鏡の一つである走査形電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope：以下SEMとする）は、例えば特開平5-94798号公報に開示されているように、電子銃から取出した電子ビームを電磁レンズ等で集束すると共に、試料上で二次元的に走査することで、試料から放出される二次荷電粒子を検出し、試料表面形状を画像表示部（例えばCRT）に表示して観察する装置である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

SEMの観察対象試料は、表面に凹凸が形成されていることが多い。例えば半導体デバイスの場合、配線等の凸部やコンタクトホール等の凹部がデバイス上に混在している。このような試料において像ぼけのない試料像を得るためには、電子ビームの径 $d_p$ が目的とする像分解能以下であると共に、このような状態が観察領域全体に亘って維持されていることが必要である。即ち、観察領域内に形成されている凸部と凹部の高低差がSEMの焦点深度 $D_F$ 内に収まっている必要が

ある。

【0004】

なお、この焦点深度 $D_F$ は、近似的に次式で表すことができる。

【0005】

$$D_F = d_p / \alpha \quad (1)$$

$\alpha$ はビームの半開角である。

【0006】

しかしながら、SEMでは、特に高倍率観察時に焦点深度を拡大化することが困難である。何故ならSEMでは空間分解能を向上させるために電子ビームをプローブ状に集束する必要があるため、ビーム径 $d_p$ を大きくすることができず、またビーム半開角 $\alpha$ を小さくすると回折収差への影響が懸念されるからである。

【0007】

更に昨今の半導体デバイスは、高集積化の目的のため、二次元的な回路素子の高密度化に加えて、高さ方向への積層化が求められるようになってきた。高密度の半導体デバイスを観察するSEMでは、高倍率時における電子プローブの空間分解能を高めるためにビーム径 $d_p$ を小さく設定する必要があるが、反面、計算式(1)の関係により焦点深度が浅くなるため、積層化によって深く形成されるコンタクトホールではその上面に焦点合わせしたビームでは、その底部等への焦点が合わなくなり、部分的に像ぼけした試料像となってしまう。

【0008】

即ち、SEMの電子プローブの空間分解能と焦点深度は相反する関係にあり、特に高集積化された半導体デバイスに対応できなくなるという問題がある。

【0009】

本発明は、上記問題を解決し、分解能の向上と焦点深度の向上の両立を可能とする走査形荷電粒子顕微鏡の提供を目的とするものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために本発明では、荷電粒子源と、当該荷電粒子源から放出される荷電粒子線を集束するレンズと、前記荷電粒子線を試料上で二次元的に



走査する走査偏向器を備えた走査形荷電粒子顕微鏡において、前記荷電粒子線の通過を制限する通過開口を、前記荷電粒子源と前記走査偏向器の間に配置し、当該通過開口は、少なくともその開口中心に前記荷電粒子線の通過を制限する部材を備えてなることを特徴とする走査形荷電粒子顕微鏡を提供する。

## 【0011】

## 【発明の実施の形態】

本発明実施例装置は、走査形荷電粒子顕微鏡の一つである走査形電子顕微鏡（SEM）において、電子ビームの空間分解能の向上と、焦点深度の拡大の両立を実現するためのものであり、その原理は以下の通りである。なお、以下の説明はSEMに関するものであるが、電子と同じ重さで逆の正極性を持つポジトロンのビームを試料上で走査する装置にも適用可能である。

## 【0012】

焦点深度は（1）式で説明したように、 $D_F = d_p / \alpha$ で表されるものであるが、一方ビーム径 $d_p$ は、電子光学系で決まるガウス像サイズ $d_g$ 、回折収差、色収差、および球面収差によるビームのぼけ量（それぞれ、 $d_d$ 、 $d_c$ 、 $d_s$ ）の2乗和の平方根として次式で近似的に表される。

## 【0013】

$$d_p^2 = d_g^2 + d_d^2 + d_c^2 + d_s^2 \quad (2)$$

$$d_g = M_o \cdot \rho \quad (3)$$

$$d_d = 0.6 \lambda / \alpha \quad (4)$$

$$d_c = C_c \cdot (\Delta E / E) \alpha \quad (5)$$

$$d_s = (1/2) C_s \cdot \alpha^3 \quad (6)$$

ここで、 $M_o$ は電子光学系の倍率、 $\rho$ は電子銃の仮想光源の大きさ、 $\lambda$ は照射電子の波長、 $C_c$ 及び $C_s$ はそれぞれ色収差係数と球面収差係数、 $E$ は電子の照射エネルギー、 $\Delta E$ は電子の照射エネルギーのばらつき幅である。代表的な $d_p$ の $\alpha$ 依存性カーブを図4に示す。

## 【0014】

$d_p$ のカーブは $\alpha = \alpha_{opt}$ で極小値を持ち、最高の像分解能（空間分解能）が得られる。 $\alpha \ll \alpha_{opt}$ の領域では $d_p = d_d$ に、一方、 $\alpha \gg \alpha_{opt}$ の領域では $d_p = d_s$

の関係がある。

【0015】

以上のような条件によって決定される電子ビームを用いて、例えば高集積化された半導体デバイスを観察しようとした場合、ビーム径  $d_p$  と焦点深度  $D_F$  は、相反する関係にあるので、微細化された半導体素子を観察する目的で一定  $\alpha$  の条件下でビーム径を小さくすると、焦点深度が不足する。即ち高積層化された半導体デバイス表面に焦点が合っても、当該表面に対し相当の高低差を持つ部分（例えばコンタクトホール底部等）で焦点が合わない場合がある。

【0016】

また、式（1）から、 $D_F$  を大きくするには  $\alpha$  を  $\alpha_{opt}$  から小さくすれば良いように思われるが、式（4）から判るように、 $d_d \propto 1/\alpha$  の関係があるため、 $d_d$  が大きくなり、像分解能は劣化する。

【0017】

本発明実施例装置は、電子ビームの空間分解能の向上と焦点深度の拡大化の両立を可能ならしめるものであり、特に高集積化され、かつ高低差が相当ある半導体デバイスを SEM で観察するに当たり、観察領域全体（電子ビームの走査領域）に亘って像ボケのない試料像を得ることのできる走査形電子顕微鏡に関するものである。

【0018】

本実施例では、このような目的を達成するために、SEM の電子源と走査偏向器との間に、開口が輪帯状に形成された輪帯開口アパチャ（少なくともその開口中心に電子線の通過を制限する部材が配置されている開口）を配置し、当該アパチャを通過した電子ビームをプローブ状に集束すると共に、当該電子プローブを上記走査偏向器で二次元走査するようにした。

【0019】

なお、電子線装置に輪帯開口アパチャを備えた例として特開平11-297610号公報、特開2000-12454号公報、特開昭48-85069号公報に開示の技術がある。これら文献に開示の技術は、試料或いはマスクに電子ビームを照射し、透過した電子ビームを蛍光板や試料に投影するためのものである。即ち以下

に示すような輪帯開口アパチャを通過した電子ビームを対物レンズでプローブ状に集束し、当該電子プローブを試料上で走査するものではない。

#### 【0020】

試料やマスクに電子線を投影する電子線露光装置や透過型電子顕微鏡と異なり、電子線を走査するSEMにおいて高倍率設定時の分解能を決定するのはビーム径であり、高分解能を実現するためにはビーム径を細くする必要がある。一方、凹凸を持つ試料面上で常に高分解能を実現するためには、ビーム径を細くすると共に、当該ビーム径が細い状態で焦点深度を深くする必要がある。

#### 【0021】

しかしながら、先の説明にあるようにビーム径と焦点深度は相反する関係にあり、ビーム径を細くしつつ、焦点深度を深くすることは困難であった。本発明実施例装置はこのように、本来相反する条件を満たすことで、例えば三次元的に高集積化された半導体デバイス等の試料像を高分解能に観察することが可能になる。以下、本発明実施例装置の原理について、図面を用いて説明する。

#### 【0022】

図1に示すのは輪帯開口アパーチャを備えたSEMの概略図である。電子銃1から電子ビーム2を加速レンズ3で取り出して加速し、集束レンズ4および対物レンズ6で試料8に集束する。集束ビームは偏向器7により試料上で走査され、試料から放出される二次電子9は二次電子検出器10で検出される。偏向器7と電子銃1との間には、集束ビームを制限するアパチャ11が配置されている。アパチャ11には、通過開口の1つである輪帯開口12を設けてあり、試料上に集束する電子ビームの開き半開角 $\alpha$ は図2に幾何光学的に示すように特定値 $\alpha_a$ と特定値 $\alpha_b$  ( $< \alpha_a$ )との帯域内にあり、開き半開角が $0^\circ$  (光軸) から $\alpha_b$ の範囲は電子の通過が制限される。

#### 【0023】

今、輪帯度を表すパラメータ $\beta$ を $\beta = \alpha_b / \alpha_a$ で定義すると、 $\beta = 0$ の開口は円形開口に相当する。図5に輪帯開口12と円形開口13を持つアパチャ11を示す。当該アパチャ11は板状体であり、タンタル(Ta)やモリブデン(Mo)材で形成される。またアパーチャにはクリーニング(汚れ除去)のための加熱手段

を設けても良い。輪帯開口12において、内側の遮蔽板12bは開口外周12aと同心であり、梁12cおよび12dにより開口外周12aに固定されている。輪帯開口12の外側と内側の円の半径をそれぞれ $r_a$ および $r_b$ とすると、 $\beta = r_b / r_a$ の関係がある。

## 【0024】

アパチャ開口の輪帯効果をみるために $\beta = 0$ および0.6のSEM光学系の評価方法として使われる伝達関数（レスポンス関数とも呼ばれる） $\tau(vD)$ の計算カーブの比較例を図6に示す。ここで、縦軸の $\tau(vD)$ は像コントラストであり、横軸の $vD$ の $v$ は波数（空間周波数）、 $D$ は $\lambda / \alpha$ であり、 $vD$ で $v$ を無次元パラメータ化している。ここでの $\alpha$ は $\alpha_a$ である。図6(b)は6(a)の $vD = 1.2 \sim 2$ の領域の拡大図である。計算パラメータ $B/D$ 、 $C/D$ および $b/D$ において、 $B$ 、 $C$ および $b$ はそれぞれ球面収差、色収差および電子銃仮想光源の大きさを表すパラメータであり、次式で定義した。

## 【0025】

$$B = (1/4) C_s \cdot \alpha_a^3 \quad (4)$$

$$C = (1/2) C_c (\Delta E / E) \alpha_a \quad (5)$$

$$b = \rho / 2 \quad (6)$$

図6では $B/D = 0$ で、かつ $\beta = 0$ および0.6それぞれに対し $(C/D, b/D)$ が $(0, 0)$ 、 $(0.4, 0)$ および $(0.4, 0.1)$ の場合を代表的に計算した。特に、 $B/D = 0$ で $(C/D, b/D) = (0, 0)$ の場合は、ポイント光源の無収差光学系に対応している。ここでは、 $\tau(vD)$ カーブにおいて、 $\tau(vD) = 0.1$ を満足する $v$ 値（ $=v_{0.1}$ ）の逆数を像分解能 $R_{0.1}$ として定義し、簡便な評価パラメータとして用いる。 $\beta = 0 \rightarrow 0.6$ での $D/R_{0.1} (=v_{0.1}D)$ 値を表1にまとめる。 $\beta = 0 \rightarrow 0.6$ で像分解能 $R_{0.1}$ は約6～7%の改善効果が得られる。さらに球面収差がある場合（ $B \neq 0$ ）でも、 $B/D \leq 1$ の場合はその影響が少なく、ほぼ同等の $R_{0.1}$ 改善率が得られる。

## 【0026】

次に、焦点深度 $\Delta z$ についての計算結果を示す。図7に光軸（ $z$ 軸）上の規格化ビーム強度分布 $i(z)$ を示す。計算条件は図6と同じく、 $\beta = 0$ および0.6

それぞれに対し  $(C/D, b/D)$  が  $(0, 0)$  および  $(0.4, 0)$  である。焦点深度  $\Delta z$  は、 $i(z) \geq 0.8$  を満足する  $z$  領域で近似でき、 $\Delta z \alpha / D$  値も表 1 にまとめた。 $\Delta z$  には  $\beta = 0 \rightarrow 0.6$  で約 50～60% 増と大きな改善効果がある。これらの像分解能や焦点深度の改善効果は、実験においても確認できた。

【0027】

【表 1】

(C/D, b/D)	$\beta=0$		$\beta=0.6$		改善率 [%]	
	$D/R_{0.1}$	$\Delta z \alpha / D$	$D/R_{0.1}$	$\Delta z \alpha / D$	$D/R_{0.1}$	$\Delta z \alpha / D$
(0, 0)	1.61	1.03	1.71	1.61	6	56
(0.4, 0)	1.60	1.10	1.71	1.66	6	51
(0.4, 0.1)	1.53	—	1.65	—	7	—

【0028】

上記実施例では、電子銃にショットキー型電子銃を用いたが、電子顕微鏡に適している電子銃には、その他に加熱型（タングステン [W] ヘヤピン）や電界放出型（冷型と熱型の 2 つのタイプが有り）の電子銃がある。表 2 にこれらの電子銃特性（輝度、仮想光源の大きさ  $\rho$ 、エネルギー幅  $\Delta E$ 、およびビーム電流の雑音）を示す。上記の輪帯による改善効果は、 $\rho$  や  $\Delta E$  が小さい電子銃、つまり電界放出型とショットキー型の電子銃が特に優れており、実験的にもこれを確認した。

【0029】

【表 2】

	加熱型 (W ヘヤピン)	電界放出型		ショットキー型
		冷型	熱型	
輝度[A/cm <sup>2</sup> -sr]	10 <sup>5</sup>	10 <sup>9</sup>	5×10 <sup>8</sup>	5×10 <sup>8</sup>
$\rho$	20~50 $\mu$ m	3nm	30nm	15nm
$\Delta E$ [eV]	1~2	0.2~0.3	0.8~1.3	0.3~0.7
ビーム電流雑音 [%RMS]	<0.5	4~6	5~10	<1

## 【0030】

図6の $\tau$  ( $vD$ ) カーブをもう少し詳しく検討する。輪帯により円形開口 ( $\beta = 0$ ) の回折限界 ( $vD = 1.6$ ) 近くの高周波成分の $\tau$ 値が高くなって像分解能 $R_{0.1}$ は改善される一方、低周波成分(ただし、 $vD = 0$ 近傍は除く)の $\tau$ 値が低下しており、その周波数成分のコントラストが劣化する。 $\beta$ が1に近づくほど、焦点深度は増大するが、コントラストがより劣化するので、焦点深度とコントラストは相反関係にある。輪帯度が $\beta$ の輪帯開口に対する電子波強度の透過率は、その開口面積比から $(1 - \beta^2)$ となり、円形開口 ( $\beta = 1$ ) の場合と同じ透過電子波強度を得ようとする、輪帯開口を照射する電子波強度を $1 / (1 - \beta^2)$ 倍に増大する必要がある。これは、全周波数成分に対して $1 / (1 - \beta^2)$ 倍のコントラスト増大になり、像質の改善につながる。この改善効果も実験的に確かめられた。

## 【0031】

電子顕微鏡像は像分解能、像質、焦点深度などの特性で評価されるが、観察目的により、それぞれの特性にかける重みが異なる。これら種々の観察目的に応えるためには、円形開口と輪帯開口の両者を持つアパチャの採用することが望ましい。これらの開口が電子線に位置づけられるよう図示しない移動機構が設けられている。本実施例装置では図5に示す輪帯開口12に隣接して円形開口13を持つアパチャ11を形成し、この2つを切り替えられるようにした。輪帯開口12

と円形開口13との選択は、以下の順序で行った。

【0032】

先ず前もって、①輪帯開口12と円形開口13に対して、それぞれの開口中心が光軸にほぼ一致するようにアパチャをその開口面と平行な面内で移動調整する。次に、②前記のそれぞれの移動調整量と共に、両開口間での集束ビームの試料上での位置ずれおよび走査像回転を補正するために偏向器に印加するそれぞれのビーム位置補正量および走査像回転補正量を登録しておく。実際の観察時には、③必要に応じてこれらの開口が選択できるように登録データから呼び出して、アパチャの開口の位置設定、およびビーム位置補正と走査像回転補正を行う。

【0033】

また、輪帯開口は、円形開口に対して電子線通過量が少ないので、例えば像コントラストや明るさを優先したい場合は、円形開口を用い、一方、像分解能を優先して試料像形成を行う場合は、輪帯開口を用いると良い。像分解能は高倍率で像観察を行うときに特に求められるので、低倍率モードと高倍率モードの切り換えに連動して円形開口アパチャと輪帯開口の切り換えを自動的に行うようなシーケンスを装置に持たせておけば、使い勝手の良い走査形電子顕微鏡の提供が可能になる。

【0034】

更に、半導体ウェハ上の多点観察を行うような装置の場合、観察点の状況に応じて、輪帯開口と円形開口を設定するレシピを組めるような構成とすれば、適正なビーム条件による自動多点観察を実現することが可能になる。

【0035】

本実施例装置は、図示されない制御装置と表示装置を備えており、制御装置は上記の開口の切り換えや他の光学装置を自動的に切り変えるに必要なデータを記憶する記憶媒体を備えており、当該記憶媒体に記憶されたデータに従って、上記切り換え等が行われる。

【0036】

上記実施例ではアパチャ11は1枚構成であったが、次に、2枚構成のアパチ

ャの実施例について図8と図9を用いて説明する。アパチャ11は電子源側に配置され円形開口部Aを持つ円形開口アパチャ11A（第1の板状体）と、試料側に配置され遮蔽円板12bおよびそれに隣接した大円形開口部Cを持つ遮蔽円板・大円形開口アパチャ11B（第2の板状体）との2枚で構成され、かつ互いに平行な面内（光軸に対して垂直）で独立に移動ができ、電子線の軌道に円板や開口を位置づけられるような移動機構が付いている。図8および図9は該円形開口アパチャ11Aと該遮蔽円板・大円形開口アパチャ11Bとを組み合わせ、それぞれ輪帯開口および円形開口を形成する実施例を示している。輪帯開口は、該円形開口部Aと該遮蔽円板Bとの両者の中心が対物レンズ6の光軸上で重なるように移動することにより実効的に作れる。また、該円形開口部Aと該大円形開口部Cとの両者の中心を対物レンズ6の光軸上で重なるように移動することにより、該円形開口部Aに相当する円形開口が実質的に作れる。

## 【0037】

輪帯開口の作成に当たっては、以下の3ステップで行った。まず、該円形開口部Aの中心を対物レンズの光軸上に配置する（ステップ1）。該円形開口アパチャ11Aが持つ該円形開口部Aの上で電子ビーム2をアライナー5で二次元走査し（図1参照）、その時の試料8からの二次電子量あるいは該円形開口アパチャ11Aに吸収される吸収電流量を輝度信号とした走査像Gを形成する（ステップ2）。この走査像Gに写っている該円形開口部Aの像をモニタしながら、その像の中心に該遮蔽円板12bを配置する（ステップ3）。ステップ2の該円形開口部Aの上で走査する該電子ビーム2は、その集束点を該円形開口部Aのz位置に必ずしも合わせる必要はないが、合わせた方がステップ3での該円形開口部Aの像がシャープになり、該円形開口部Aと該遮蔽円板12bとの軸合わせ精度が向上する。

## 【0038】

この円形開口アパチャ11Aと該遮蔽円板・大円形開口アパチャ11Bとの間の距離が短く、この間のビームの発散、あるいは集束によるビーム径の変化が無視できる場合は、輪帯度 $\beta$ の計算に用いる該円形開口A、該遮蔽円板12b、および該大円形開口Cの大きさ（半径）比に補正は不要である。例えば、輪帯開口



の形成の場合、該円形開口Aおよび該遮蔽円板12bの半径をそれぞれ $r_a$ および $r_b$ とすると、輪帯度 $\beta$ は、 $\beta = r_b / r_a$ となる。ただし、該遮蔽円板12bを形成する開口外周の半径 $r_{11a}$ は、 $r_a$ に比べて十分大きい。

## 【0039】

次に、輪帯度 $\beta$ の計算において、開口の大きさ（半径）比に補正が必要なアパチャ11の実施例を図10に示す。該アパチャ11は、図8および9の場合と同様、円形開口アパチャ11Aと遮蔽円板・大円形開口アパチャ11Bとの2枚で構成されているが、両者の間にはレンズ14が存在する。輪帯開口の形成の場合、該円形開口Aが制限するビームの該遮蔽円板・大円形開口アパチャ11Bのz位置でのビーム径を $r_{a,11B}$ 、該遮蔽円板12bの半径を $r_b$ とすると、輪帯度 $\beta$ は、次式で表される。ただし、該遮蔽円板12bを保持する開口外周12aの半径 $r_{12a}$ は、 $r_{a,11B}$ に比べて十分大きい。

## 【0040】

$$\beta = r_b / r_{a,11B} = K r_b / r_a$$

ここで、Kは大きさ補正係数で、 $K = r_a / r_{a,11B}$ であり、必ずしも1にならない。

## 【0041】

また、図8－図10のアパチャ11の構成において、円形開口部Aを持つ円形開口アパチャ11Aは電子源側に、一方、遮蔽円板12bおよびそれに隣接した大円形開口部Cを持つ遮蔽円板・大円形開口アパチャ11Bは試料側に配置されたが、その配置は逆であっても同様な効果が得られる。

## 【0042】

図1のSEMは、電子顕微鏡像の輝度信号情報として、電子ビーム照射により試料の表面から放出される二次電子9を利用した例である。電子の加速電圧を100kV程度以上にし、また試料を厚さ数10～数100nmの薄膜にすれば、前記の輝度信号情報として、該試料から透過した電子ビームも利用できる。二次電子の顕微鏡像が主に試料の表面情報をもたらすのに対し、透過電子ビームの顕微鏡像は試料の内部情報をもたらすのが特徴である。

## 【0043】

また、本実施例装置では二次電子を用いて試料像を形成しているが、これに限らず反射電子を用いて試料像を形成する装置に適用しても良い。次に、本発明の上記アパチャの開口を円形開口および輪帯開口とした時のそれぞれの電子顕微鏡像DおよびEを撮影し、この両像を用いて新たな顕微鏡像Fを作成して表示することを特徴とした電子顕微鏡を用いた像形成方法の実施例を図11および図12を用いて説明する。本実施例でのアパチャは図5、図7、あるいは図9に示したアパチャ11であり、輪帯開口の輪帯度を $\beta = 1 / 2^{1/2} = 0.71$ とした。該電子顕微鏡像DおよびEを撮影し、この両像を用いて新たな顕微鏡像Fを作成して表示する処理フローを図11に示す。初めに、開口を円形開口および輪帯開口とした時のそれぞれの電子顕微鏡像DおよびEを撮影し、デジタル情報として記録する(S1)。ただし、輪帯開口での電子顕微鏡像Eの撮影には、開口通過後のビーム強度を円形開口の場合と同じにするため、電子銃から取り出す電子ビーム強度(正確には、放射角電流密度)を2倍にした。次に、該顕微鏡像DおよびEのそれぞれのフーリエ変換画像を $D_F$ および $E_F$ を作成する(S2)。該画像 $D_F$ および $E_F$ において、 $v = v_c$ で両者のコントラストレベル $\tau(vD)$ を合わせたそれぞれの画像 $D_{FB}$ および $E_{FB}$ の作成する(S3)。ここで、 $v_c$ はカットオフ周波数で試料上での電子ビームエネルギー、光学系の収差係数、ビーム半開角 $\alpha$ で決まる値である(図12参照)。該フーリエ変換画像 $D_{FB}$ には空間周波数 $v$ において領域 $v \leq v_c$ を通すローパスフィルターをかけた画像 $D_{FBL}$ を、一方、フーリエ変換画像 $E_F$ には $v \geq v_c$ を通すハイパスフィルターをかけた画像 $E_{FBH}$ を作成する(S4)。次に、該フーリエ変換画像 $D_{FBL}$ および $E_{FBH}$ のそれぞれの逆フーリエ変換画像、つまり実空間画像 $D_{BL}$ および $E_{BH}$ を作成する(S5)。最後に該実空間画像 $D_{BL}$ および $E_{BH}$ において、両画像の位置を合わせた和画像Fを新たに作成する(S6)。該和画像Fを画像表示部(CRTなど)に出力する(S7)。

#### 【0044】

この該和画像Fの特長は、画像Cより $v \geq v_c$ の高周波成分のコントラストが1～2倍改善されていること、および焦点深度が数10%改善されていることにある。さらに、像分解能については数%改善されている。これらの改善効果につ

いてレスポンス関数  $\tau(vD)$  の観点から説明する。円形開口および輪帯開口をそれぞれ用いた時の電子顕微鏡の  $\tau_C(vD)$  および  $\tau_A(vD)$  カーブ、上記のローパスおよびハイパスのフィルター処理して作成する該和画像  $F$  に対応した仮想の電子顕微鏡の  $\tau_{C+A}(vD)$  カーブを図 1 2 に比較して示す。 $\tau_{C+A}(vD)$  は、 $v \leq v_c$  の領域では  $\tau_C(vD)$  に、一方、 $v \geq v_c$  の領域では  $\tau_A(vD)$  に一致する。後者の領域で  $\tau_{C+A}(vD) / \tau_C(vD) = 1 \sim 2$  であることから、この領域でのコントラストが円形開口の像と比べ 1 ～ 2 倍に改善されることがわかる。

【0045】

なお、結像光学系の瞳に輪帯形状を用いた例として、河田 聡偏「超解像の光学」(学会出版センター、1999年)の第2章の開示がある。

【0046】

【発明の効果】

上記本発明によれば、試料表面を走査する荷電粒子顕微鏡において、焦点深度の向上と分解能の向上の両立を実現することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の輪帯開口を持つアパチャを採用した走査形の電子顕微鏡の概略構成図

【図2】

本発明における試料照射ビーム(輪帯形状)の幾何光学的説明図。

【図3】

試料上でのビーム半開角  $\alpha$ 、ビーム径  $d_p$  と、試料上でのビームの焦点深度  $D_F$  との関係の説明図。

【図4】

代表的な  $d_p$  の  $\alpha$  依存性カーブ。

【図5】

本発明の輪帯開口と円形開口をもつアパチャの実施例。

【図6】

$\beta = 0$  および  $0.6$  の SEM 光学系の伝達関数(レスポンス関数)  $\tau(vD)$

の計算カーブの比較例。

【図 7】

光軸（ $z$  軸）上の規格化ビーム強度分布  $i(z)$ 。

【図 8】

円形開口を持つ円形開口アパチャ 1 1 A と遮蔽円板 1 2 b を持つ遮蔽円板・円形開口アパチャ 1 1 B とで輪帯開口を形成した実施例。

【図 9】

円形開口を持つ円形開口アパチャ 1 1 A と大円形開口 C を持つ遮蔽円板・円形開口アパチャ 1 1 B とで円形開口を形成した実施例。

【図 1 0】

円形開口アパチャ 1 1 A と遮蔽円板 1 2 b を持つ遮蔽円板・円形開口アパチャ 1 1 B とが両者間にレンズを挟んだ状態で輪帯開口を形成した実施例。

【図 1 1】

本発明の画像処理部の処理フロー。

【図 1 2】

円形開口および輪帯開口をそれぞれ用いた時の電子顕微鏡、および画像処理部の処理プロセスで作る円形開口と輪帯開口を複合化した仮想の電子顕微鏡の  $\tau(vD)$  カーブ比較。

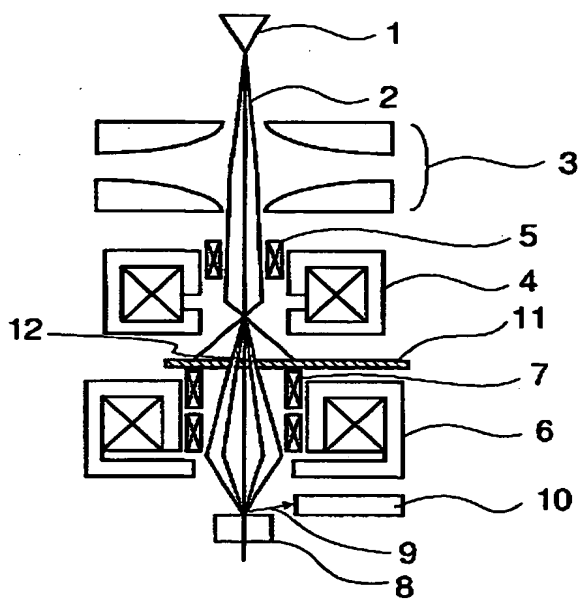
【符号の説明】

1 … 電子銃、2 … 電子ビーム、3 … 加速レンズ、4 … 集束レンズ、5 … アライナー、6 … 対物レンズ、7 … 偏向器、8 … 試料、9 … 二次電子、1 0 … 二次電子検出器、1 1 … アパチャ、1 1 A … 円形開口アパチャ、1 1 B … 遮蔽円板・大円形開口アパチャ、1 2 … 輪帯開口、1 2 a … 輪帯開口の外周、1 2 b … 遮蔽円板、1 2 c, 1 2 d … 遮蔽円板を支える梁、1 3 … 円形開口、1 4 … レンズ。

【書類名】 図面

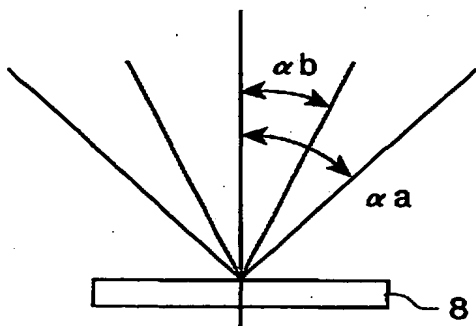
【図 1】

図 1



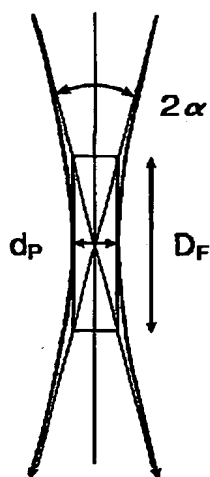
【図 2】

図 2



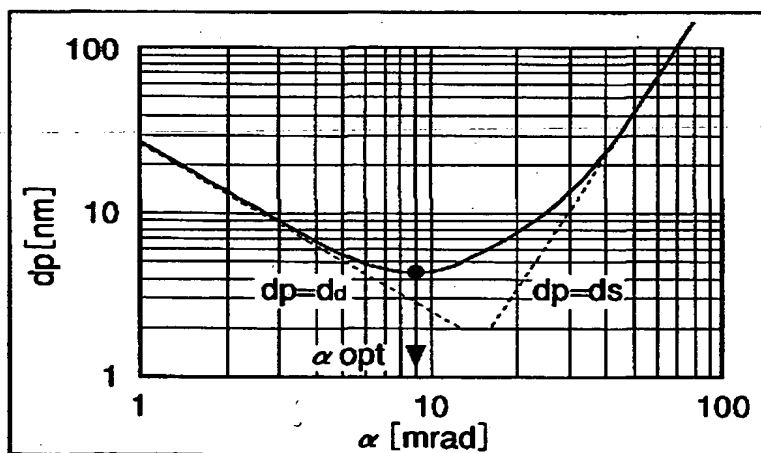
【図 3】

図 3



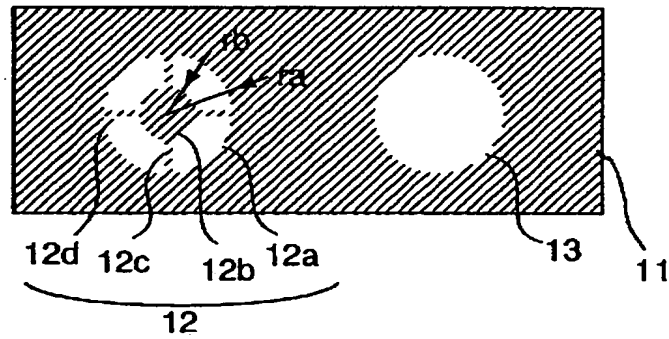
【図 4】

図 4



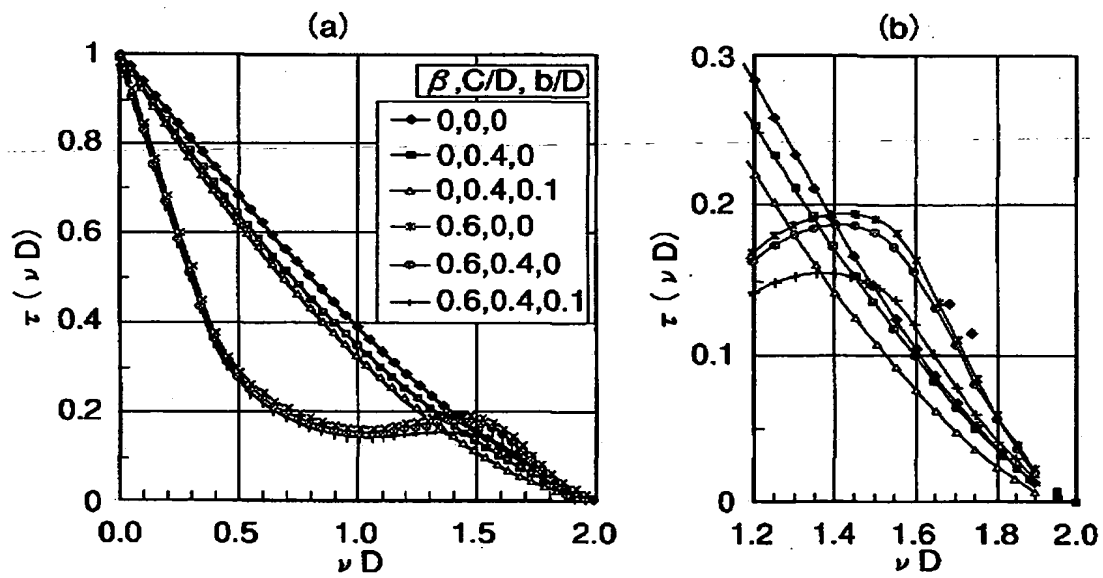
【図 5】

図 5



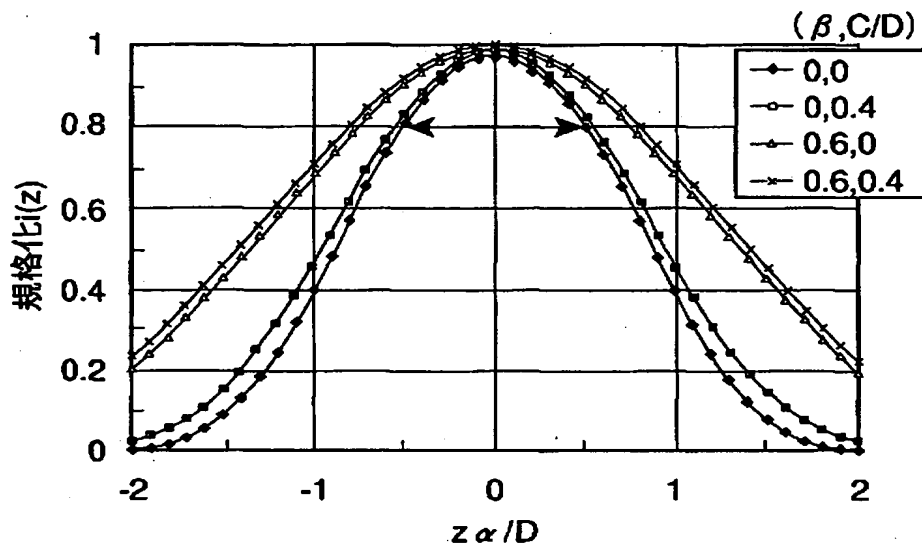
【図 6】

図 6



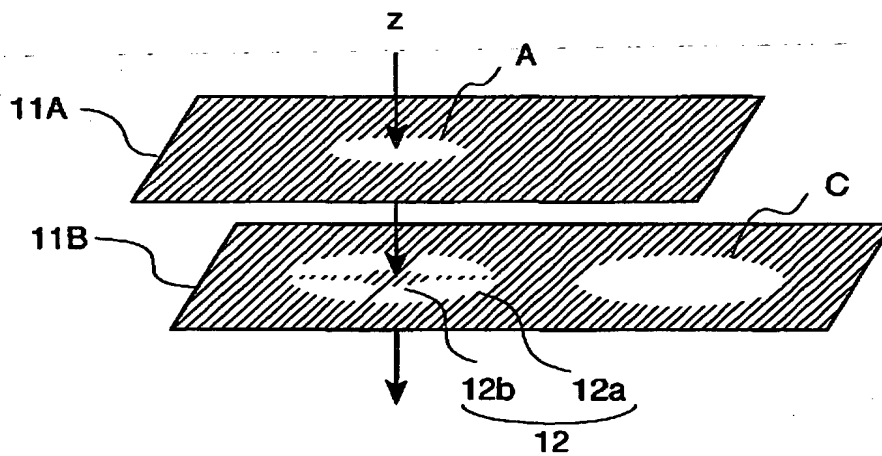
【図7】

図 7



【図8】

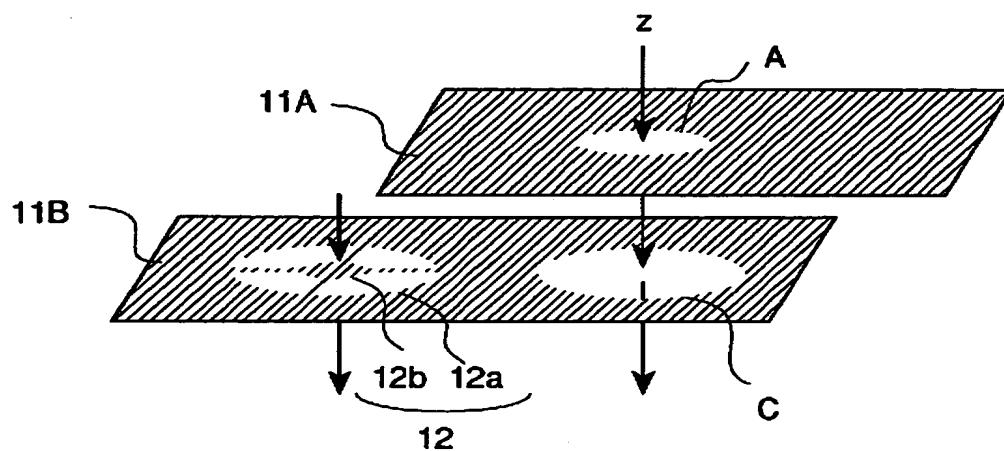
図 8





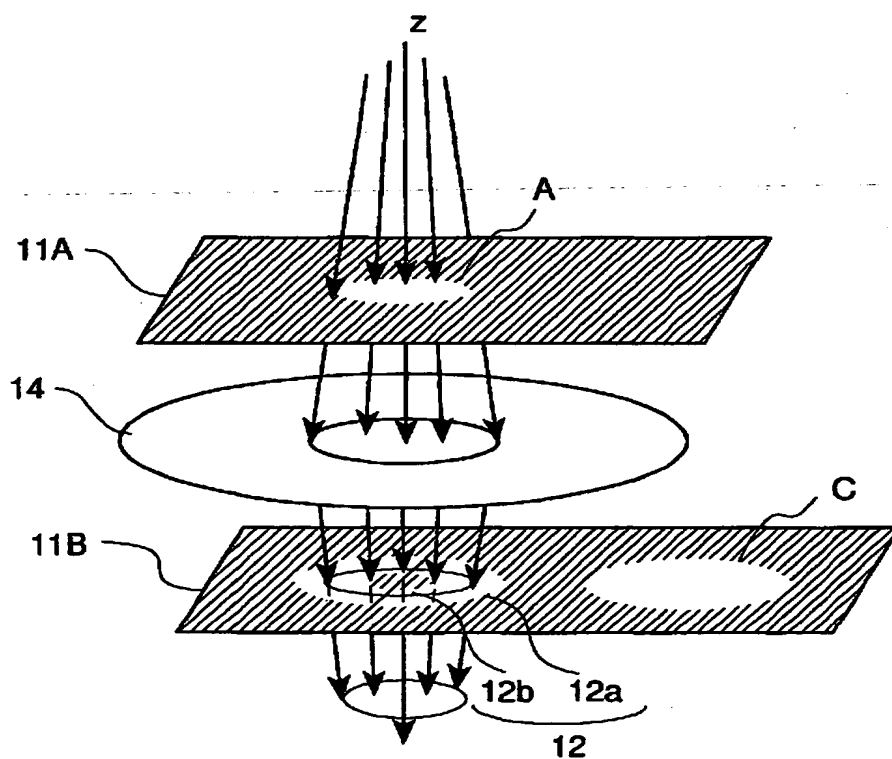
【図9】

図 9



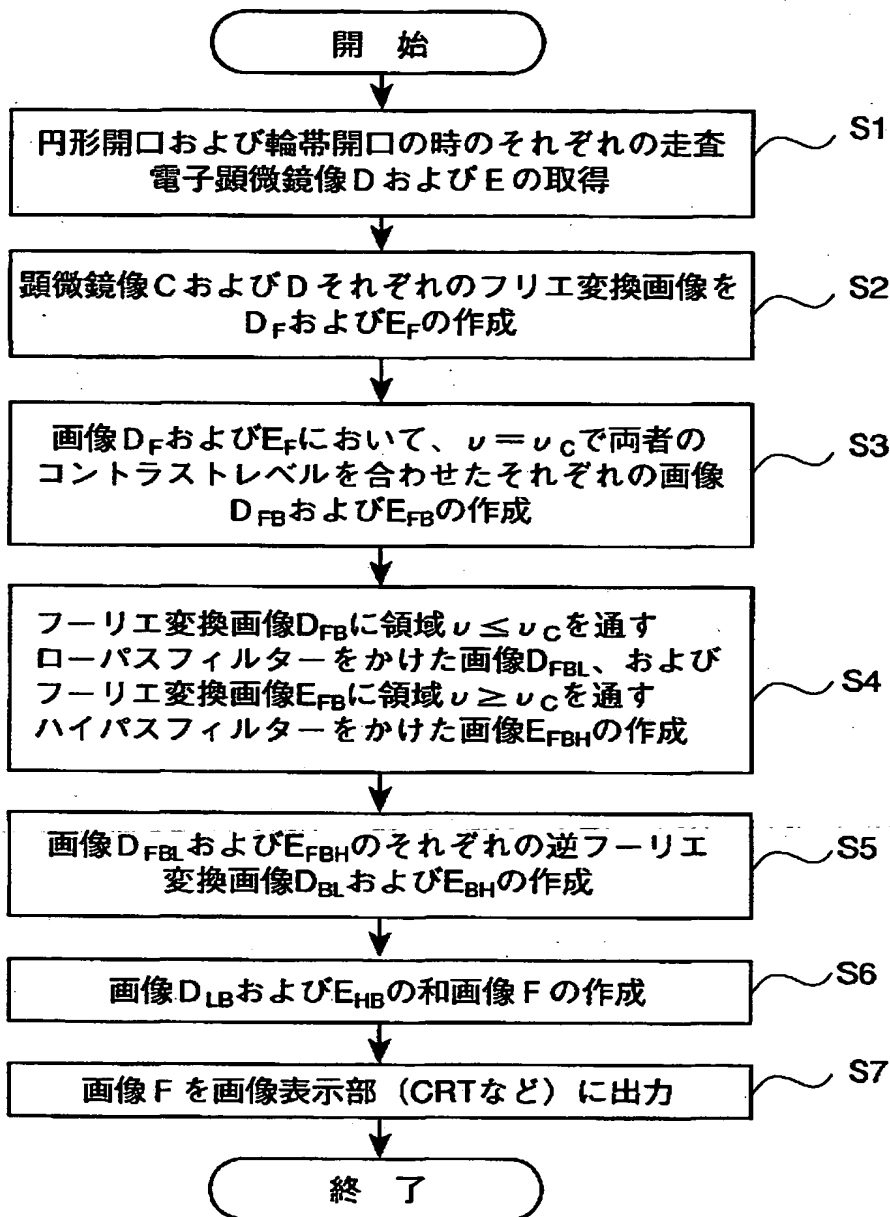
【図10】

図 10



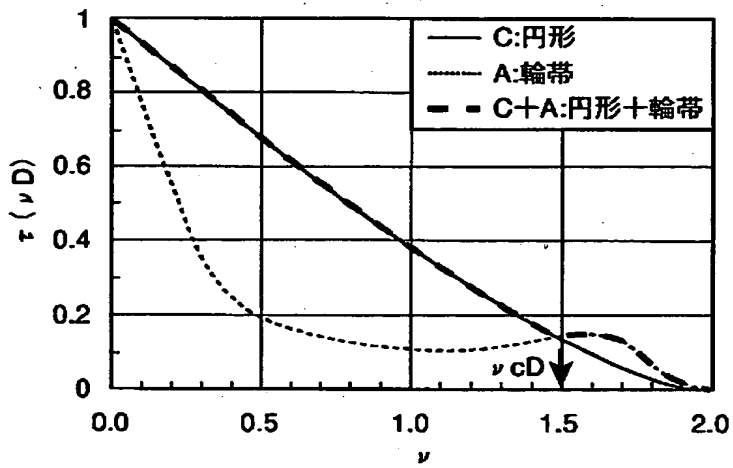
【図 11】

図 11



【図 12】

図 12



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

本発明は、分解能の向上と焦点深度の向上の両立を可能とする走査形荷電粒子顕微鏡の提供を目的とするものである。

【解決手段】

荷電粒子線の通過を制限する通過開口を、荷電粒子源と走査偏向器の間に配置し、当該通過開口は、少なくともその開口中心に荷電粒子線の通過を制限する部材を備えてなることを特徴とする走査形荷電粒子顕微鏡を提供する。

【選択図】 図 1

特2000-316843

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2000-316843
受付番号	50005048787
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成12年10月13日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成12年10月12日

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日	1990年 8月31日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地
氏 名	株式会社日立製作所